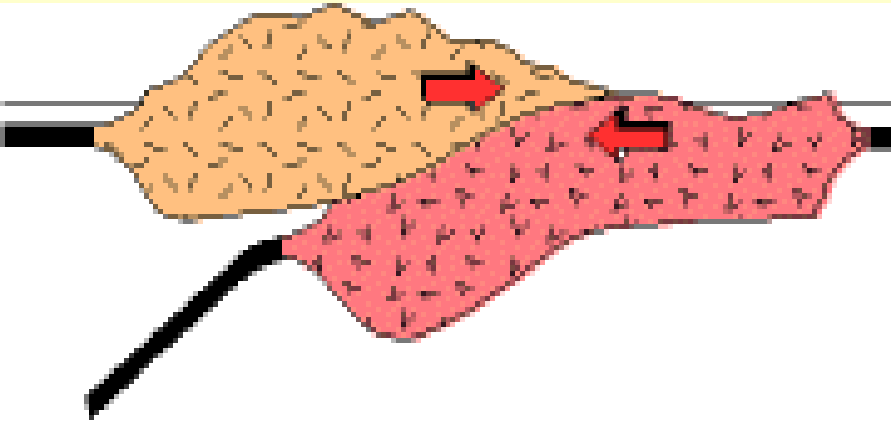


G4021 Magmatická a metamorfní petrologie

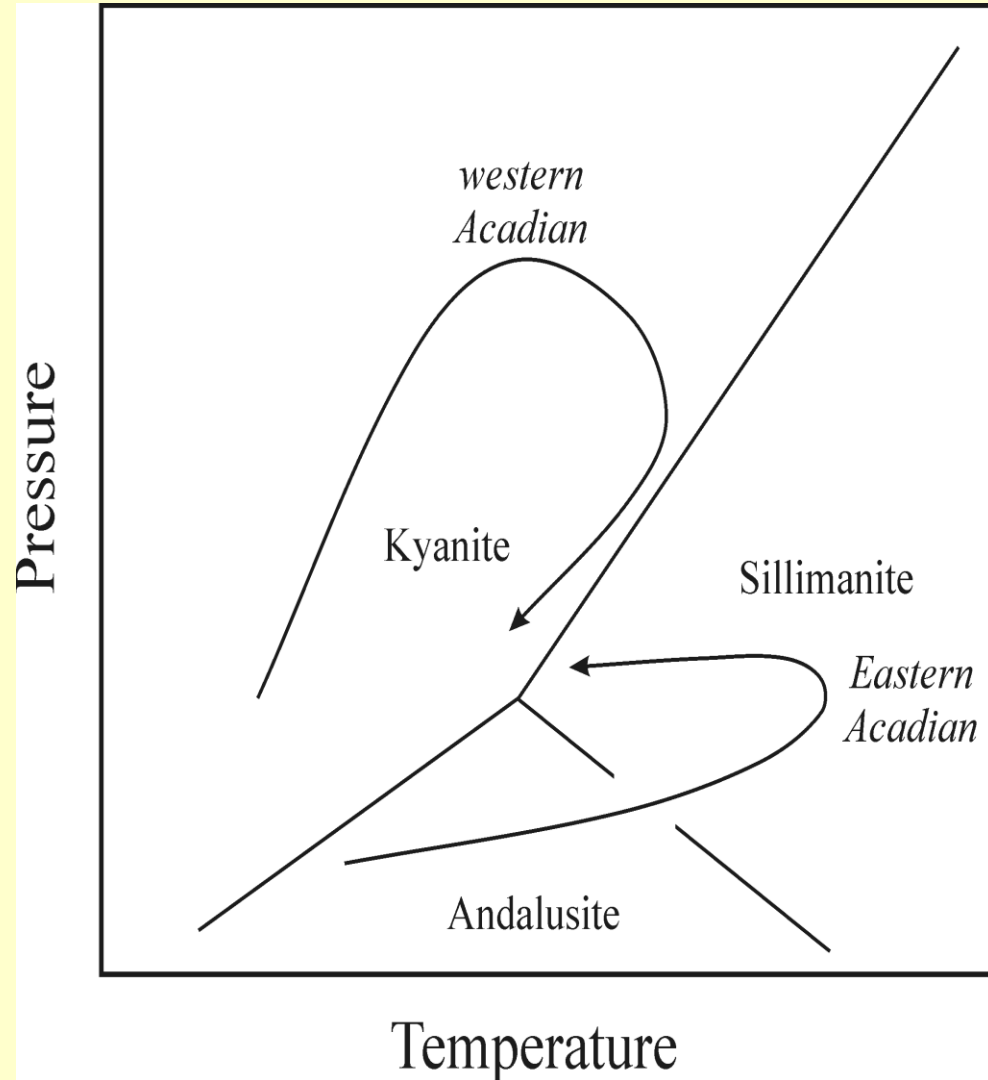
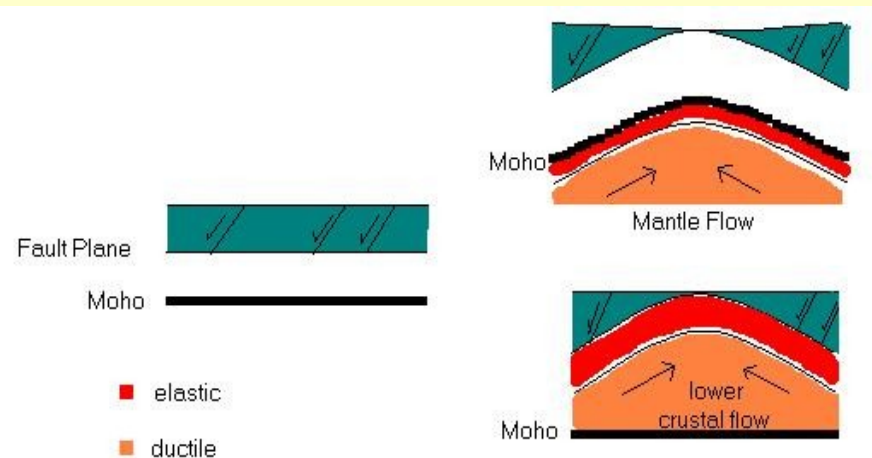
**P-T-t dráhy v metamorfovaných horninách –
interpretace a modely**

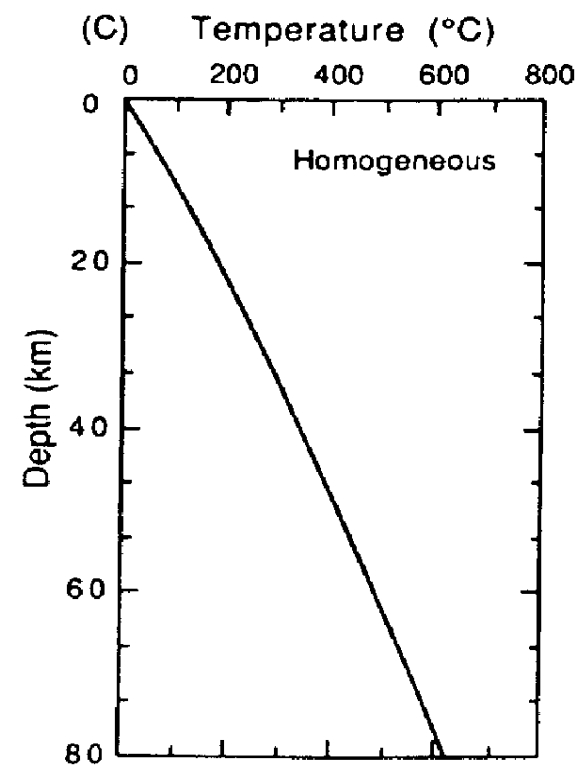
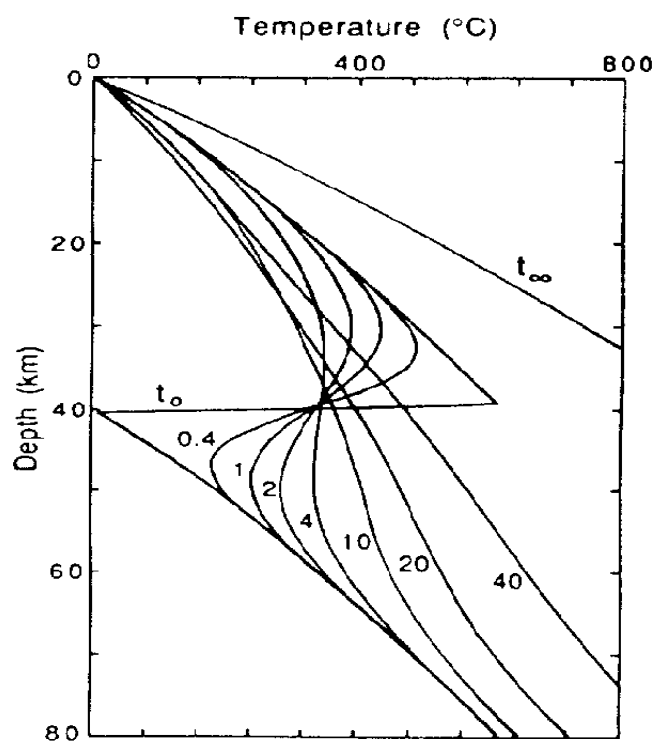
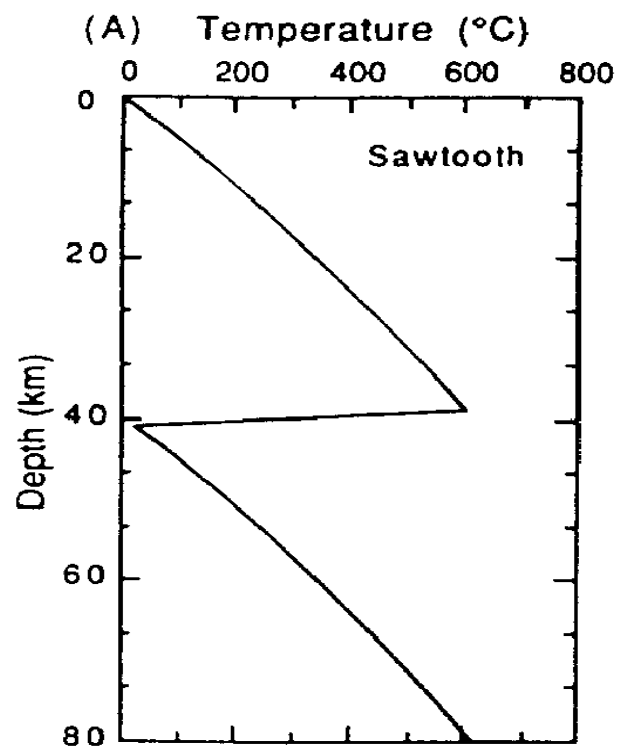
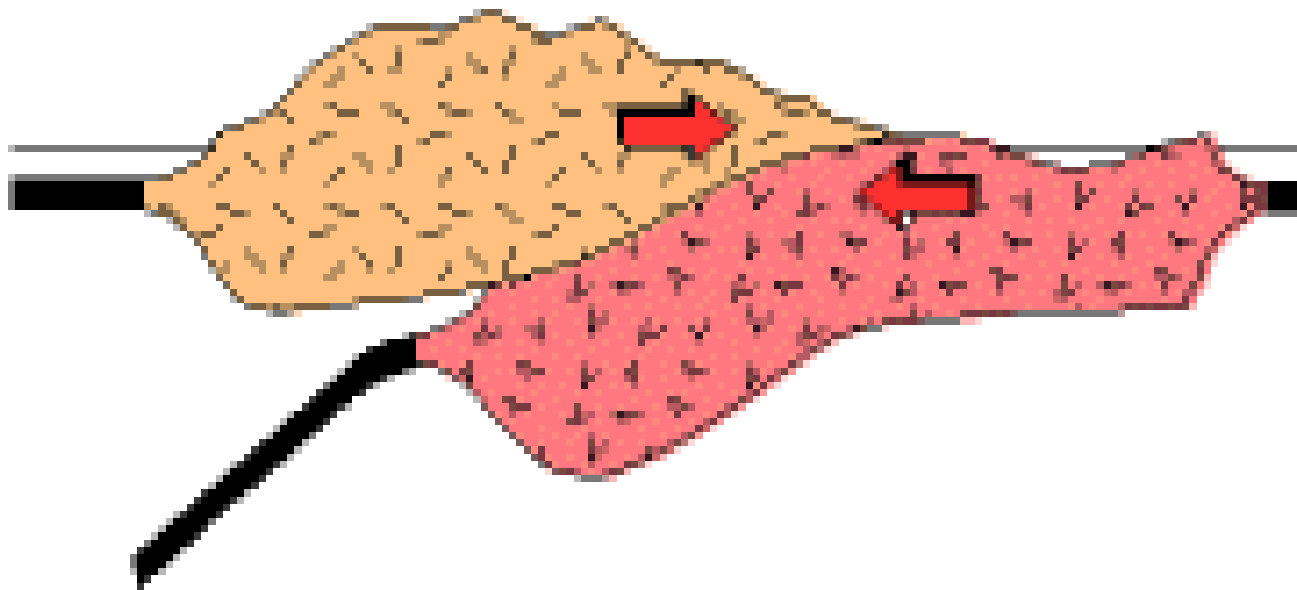
Popis dráh P-T -t

- **P-T CW (clockwise)** - po směru hodinových ručiček = pohřbení, subdukce

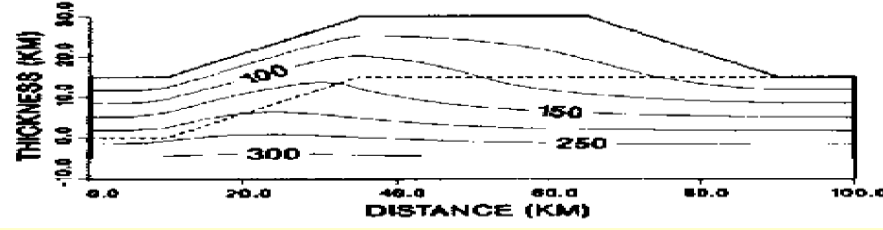
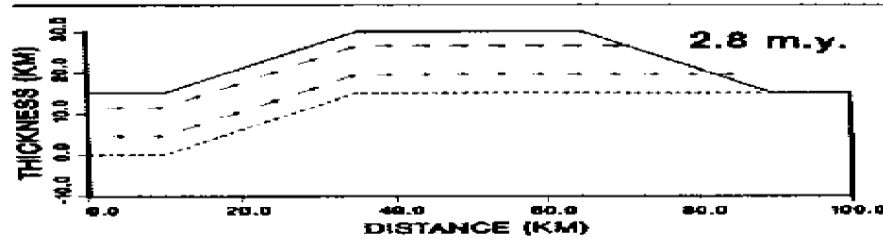
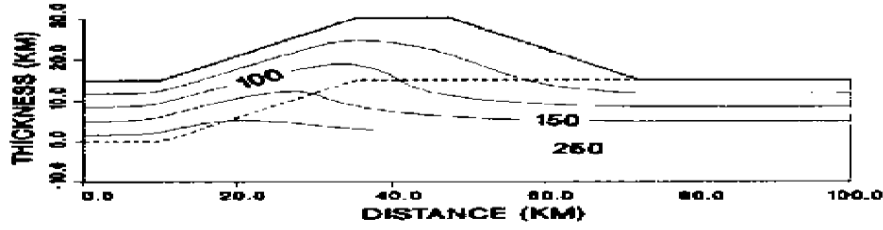
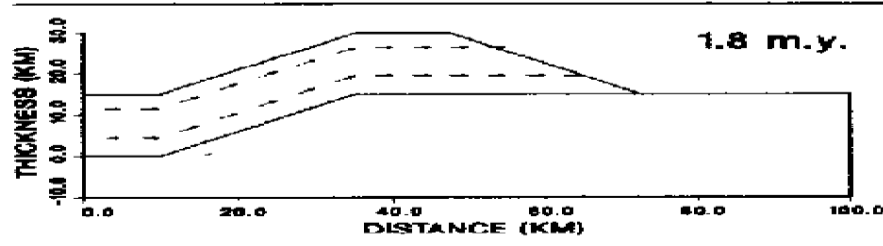
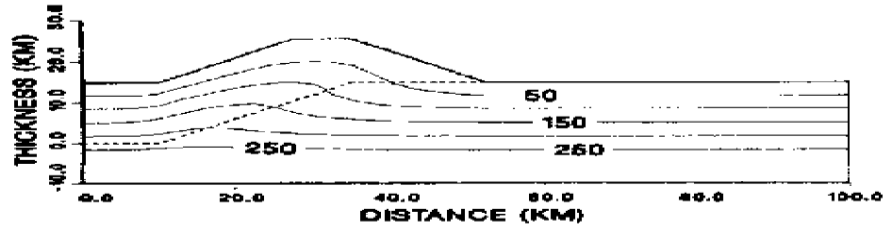
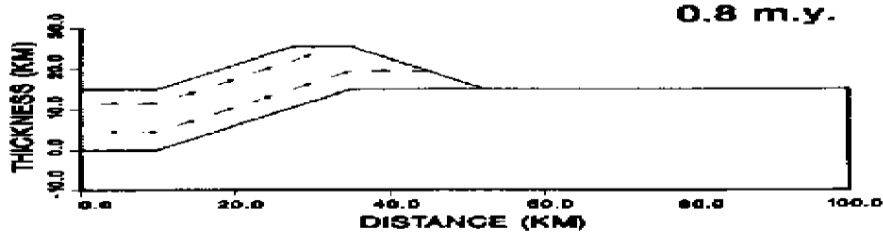


- **CCW (counter-clockwise)** - magmatic underplating - prohrádní část dráhy

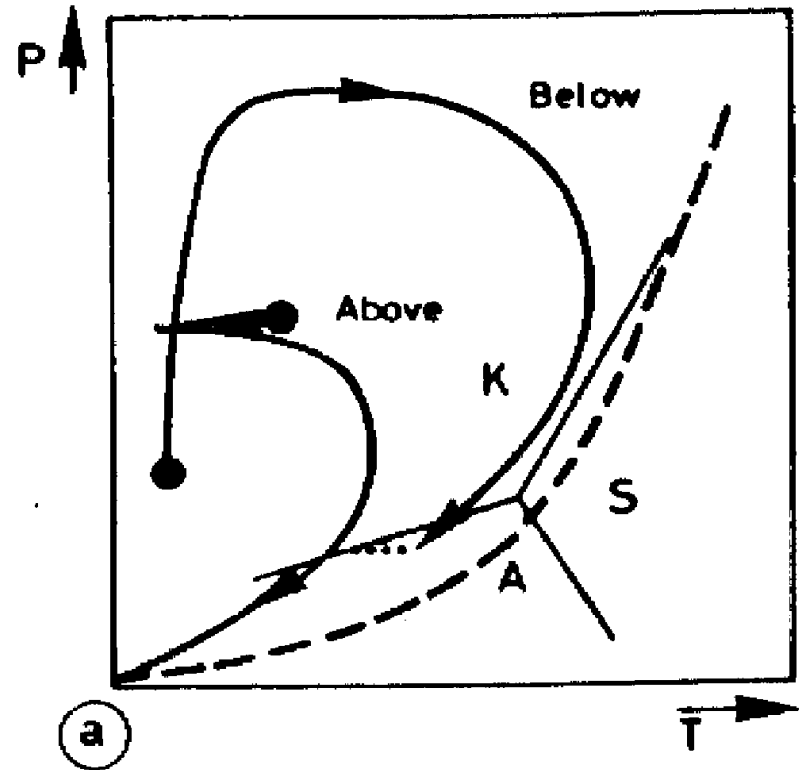


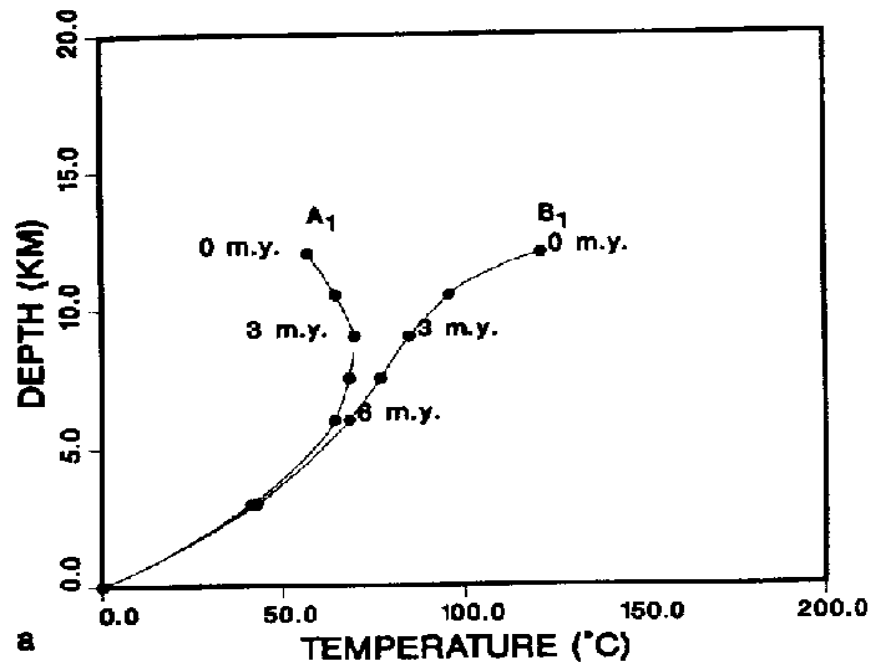
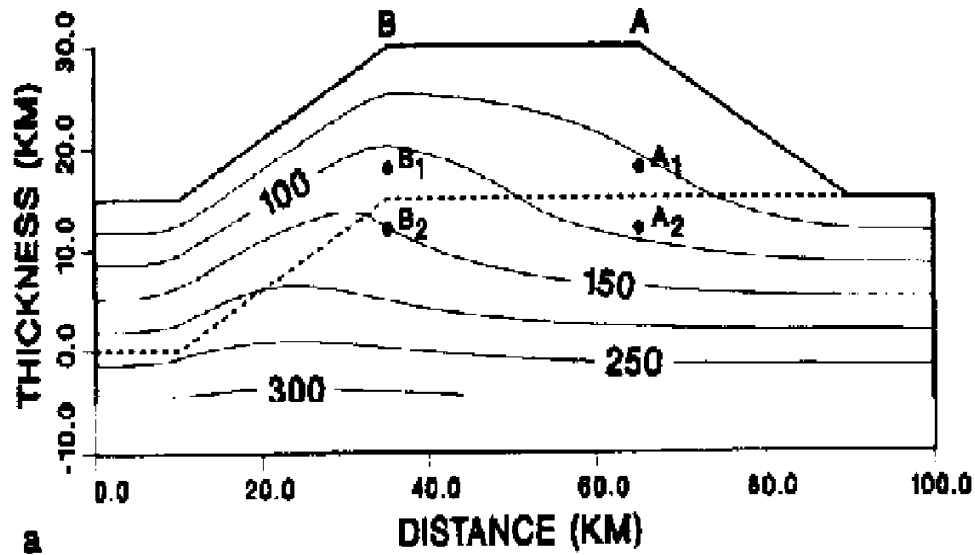


Model pro rychlost nasuvání 2 cm/rok

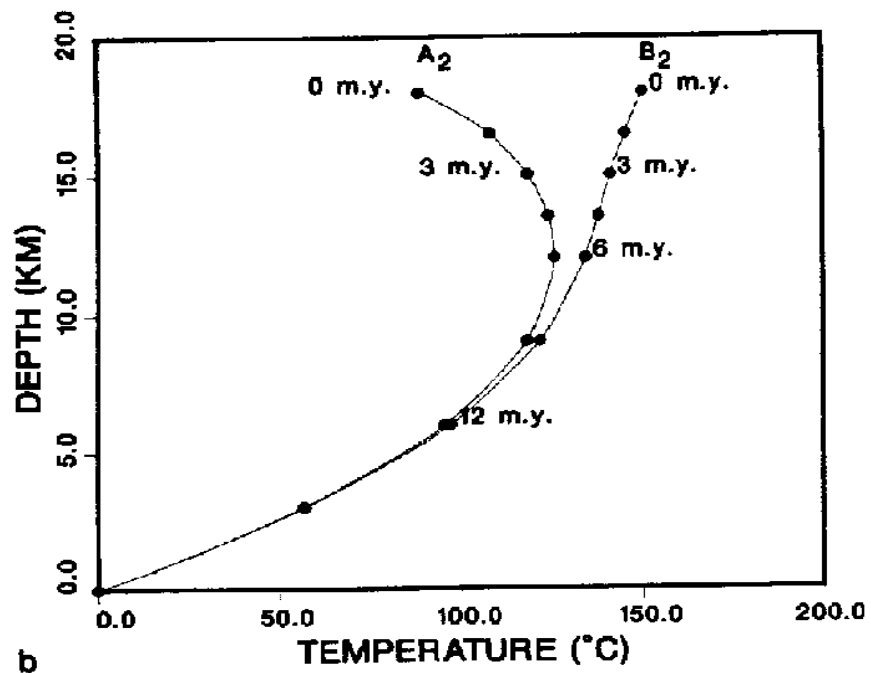
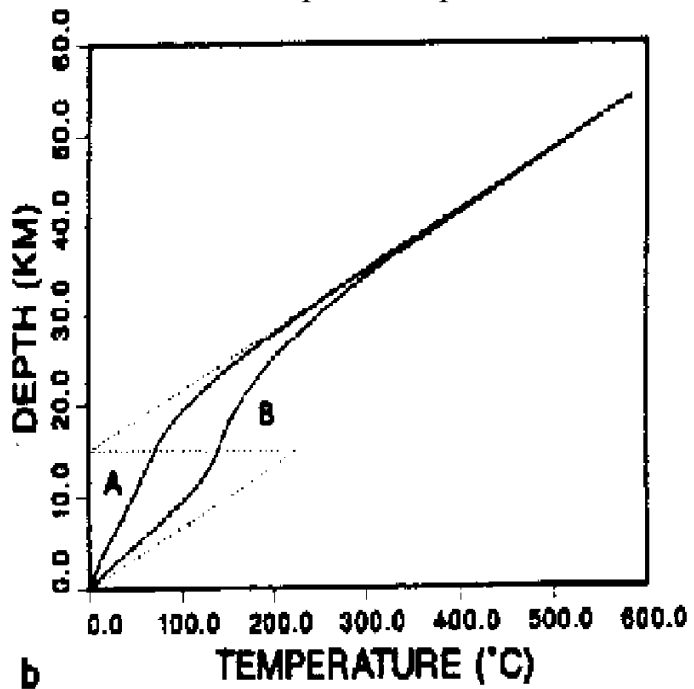


THRUSTING / EROSION



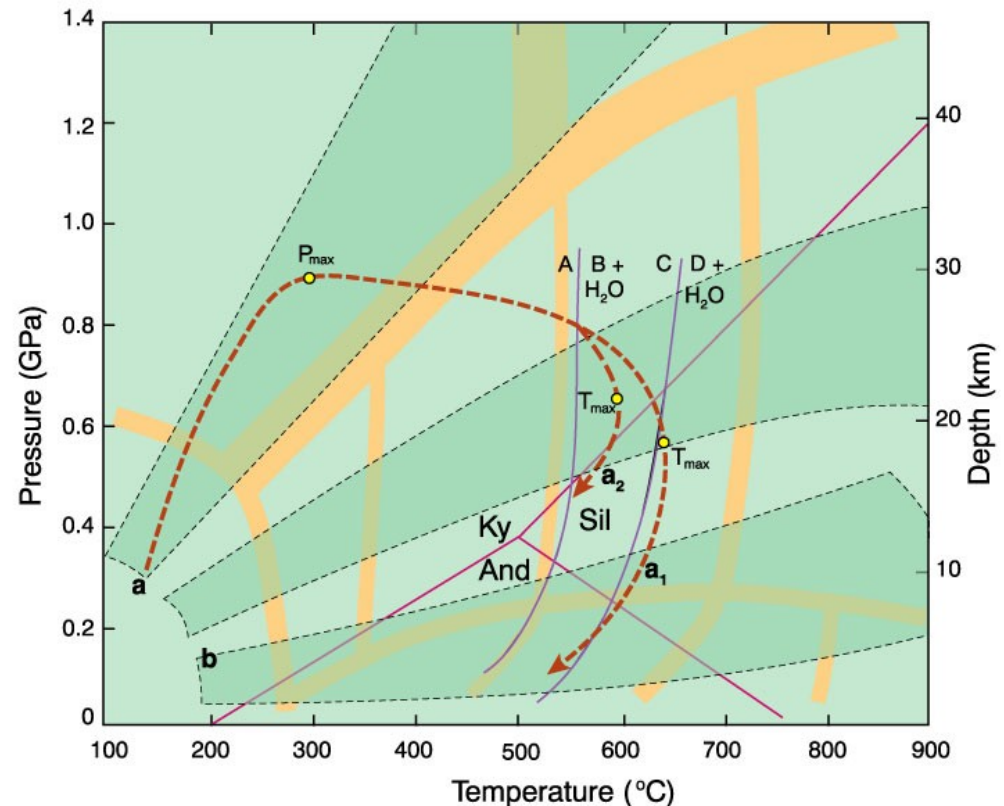


Termální a strukturní model příkrovů po ukončení nasouvání



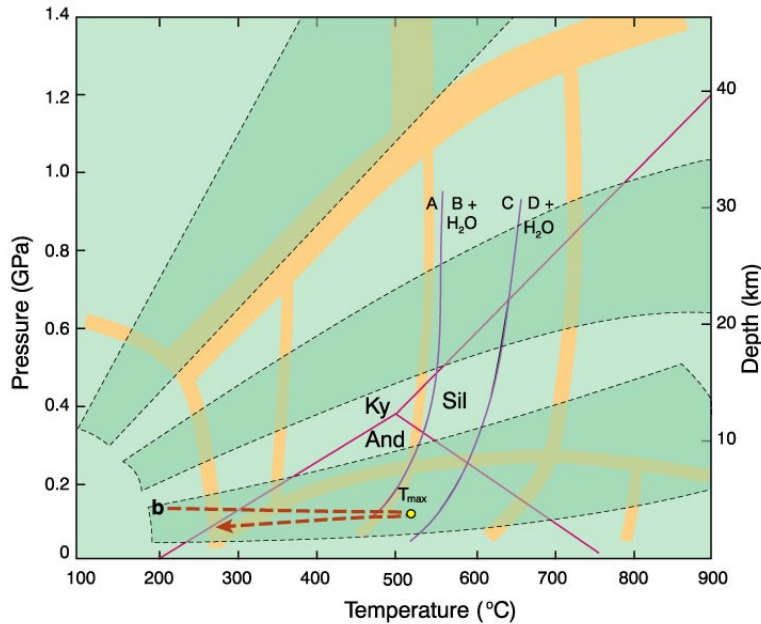
P-T-t draha (a) je typická pro orogenetická pásma kde dochází ke stluštění kontinentální kůry is (crustal thickening)

- během nárůstu mocnosti kontinentální kůry roste tlak (vzrůst tlaku se v horninách projeví okamžitě (P_{max}), ale tepelný tok je pomalý proces a tak nějakou dobu trvá než dosáhne teplota maximálních hodnot)
- v kontinentální kůře je hodně radioaktivních prvků a určité teplo také mohou dodávat magmatické horniny a proto postupně roste teplota hornin až na hodnotu (T_{max})
- **Eroze** způsobí že tloušťka kůry se brzy začne snižovat a tlak začne klesat
- k poklesu tlaku dochází většinou dříve než hornina dosáhne rovnováhy s orogenetickou geotermou (proto většinou teplota roste i během poklesu tlaku)



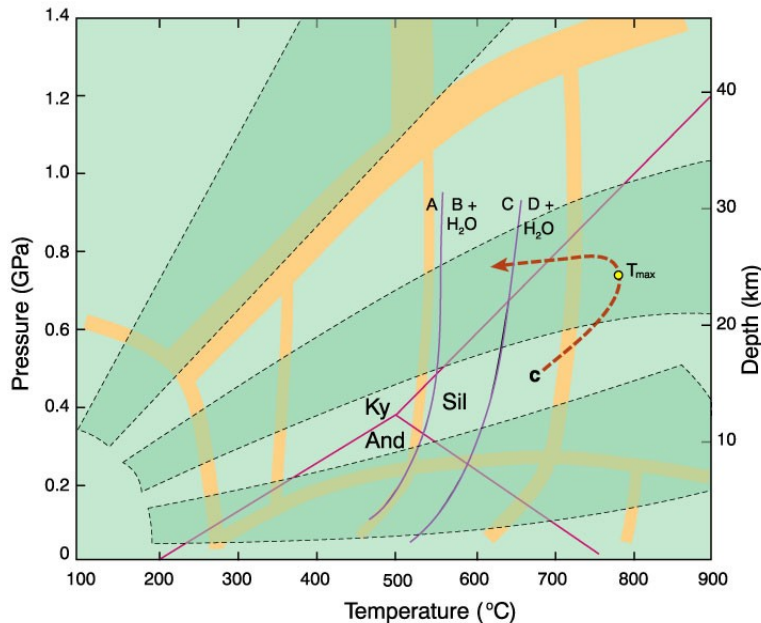
P-T-t draha (b) je typická pro magmatickou intruzi do malých hloubek

- v první fázi nárůst a poté pokles teploty spojené s intruzí a chladnutím tělesa vyvřelých hornin, vše za relativně konstantního tlaku
- často přechody mezi a-b (regionální kontaktní met.)



P-T-t draha (c) proti směru hodinových ručiček “counterclockwise”

- vyskytují se ve vysoce metamorfovaných rulách, které jsou produktem kontaktní metamorfózy spojené s intruzí většinou bazických hornin do spodní a střední kůry.



- P-T a vrcholné metamorfní podmínky - vysoce metamorfované horniny
- pojmy progradní a retrogradní spojeny s tektonickým procesem, nejen s T
- **A) Progradní část dráhy:** nebývá zachována – starší metamorfní procesy překryty vrcholnými PT podmínkami
- **B) Retrogradní část dráhy :**
 - 1) izotermální snížení tlaku neboli dekomprese (**isothermal decompression - ITD**): tektonické ztluštění kůry a následná erozní či **tektonická** exhumace
 - 2) izobarické chladnutí (**isobaric cooling - IBC**) například horniny v kontaktním dvoře magmatických těles

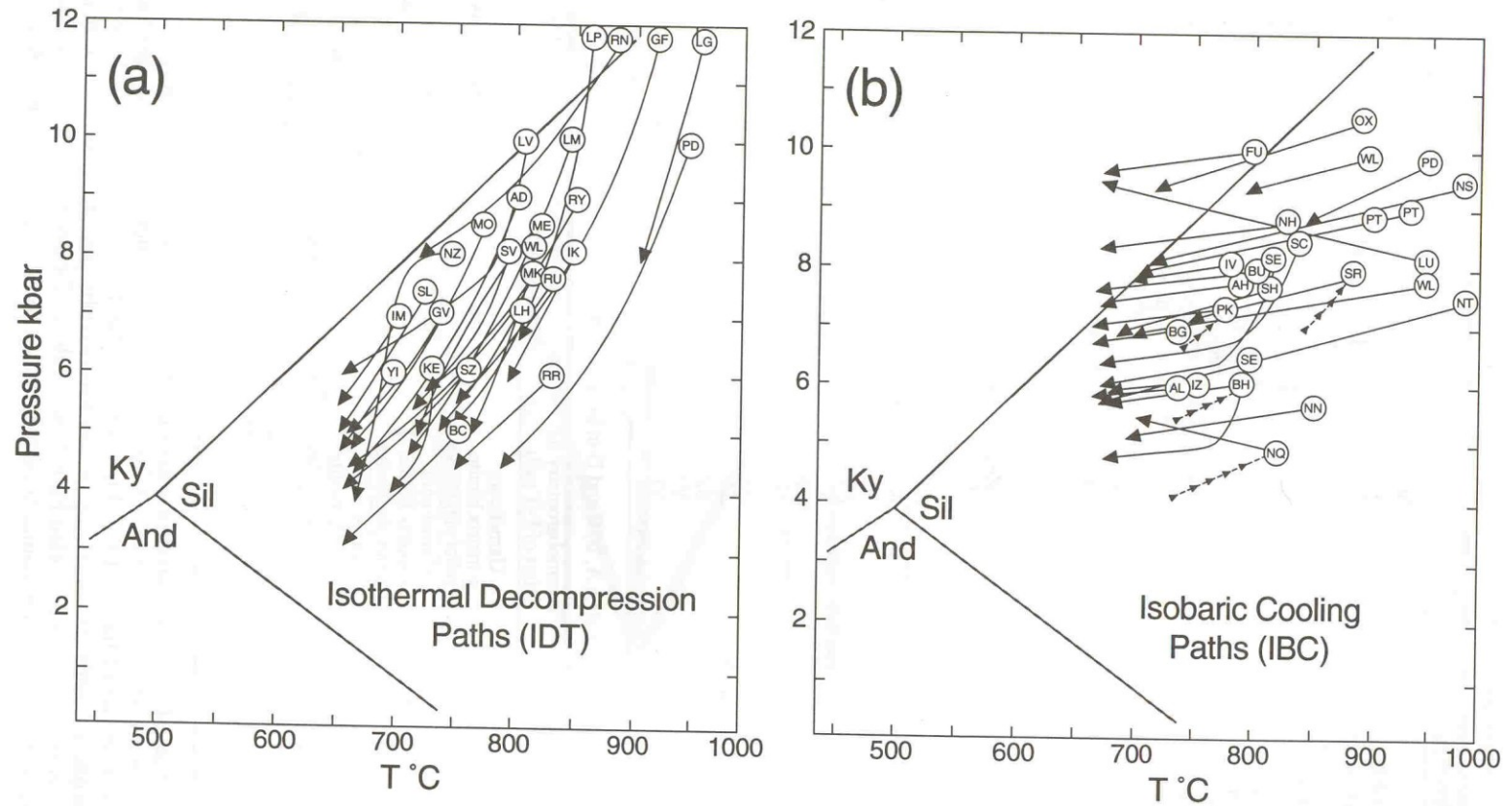


Figure 21-25. P-T paths from granulites. (a) Isothermal decompression paths. (b) Isobaric cooling paths. Abbreviations for areas in Table 21-1. From Harley (1989).

- **ITD \Rightarrow CW dráha P-T (ztluštění kůry)**
- **IBC \Rightarrow magmatická tělesa, magmatická akrece na bázi kůry**

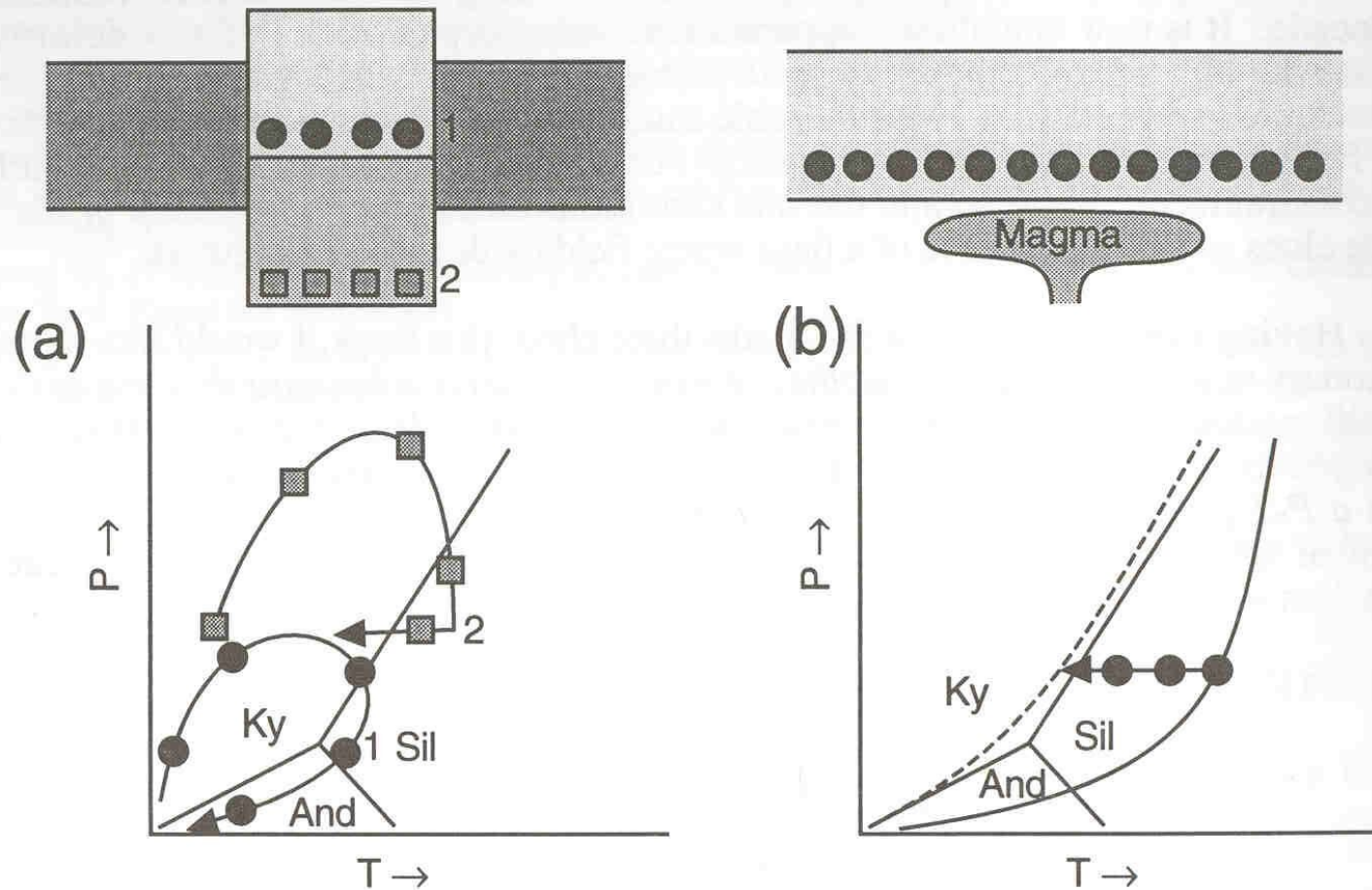
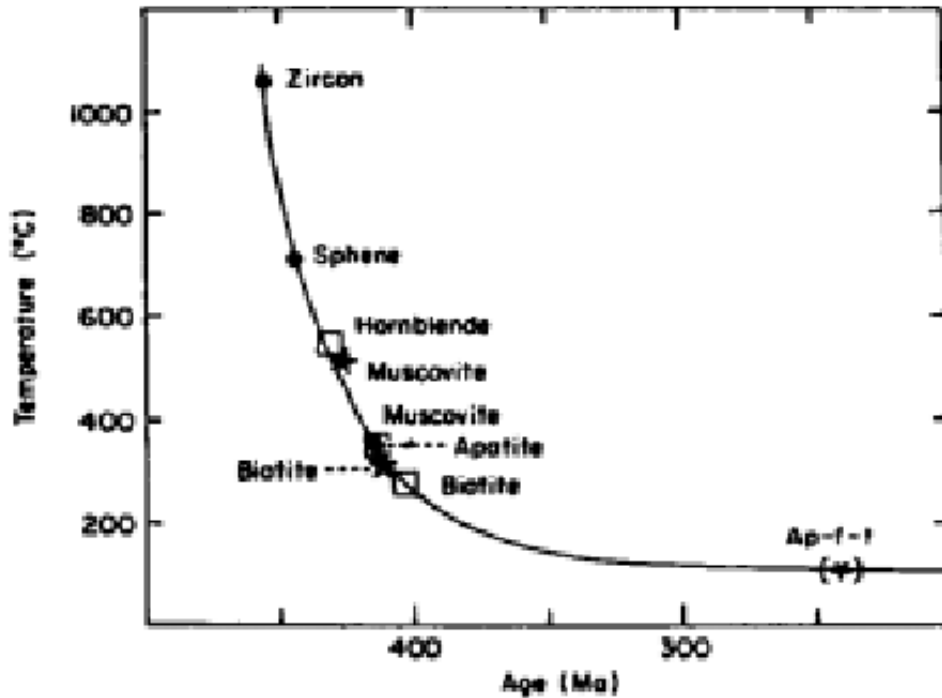


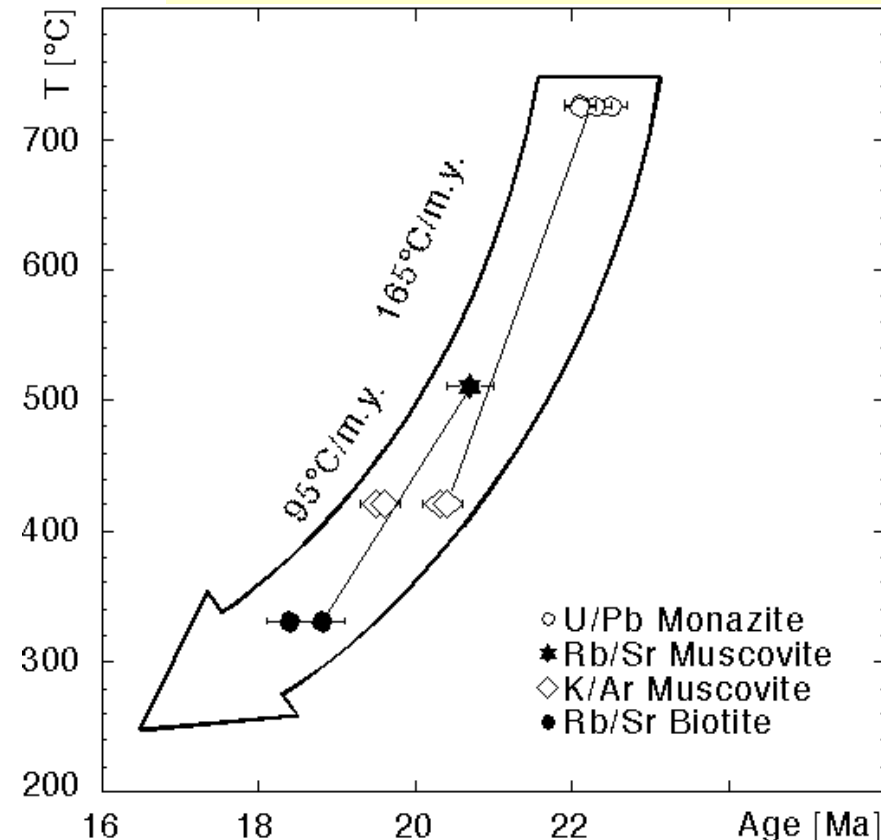
Figure 21-28. Tectonic cartoons and P-T paths showing two possible scenarios to produce isobaric cooling paths. (a) Crustal doubling model. Rocks at the base of the upper crust (labeled 1) will have clockwise P-T loops and will be exhumed during the first orogenic cycle. Rocks labeled 2 will have overall clockwise loops but will have a significant period of isobaric cooling, which may obscure any evidence for early high pressure metamorphism. A second orogeny is required to exhume these rocks. (b) Magma underplating model. An elevated geotherm caused by magma underplating will eventually evolve to a steady state geotherm and rocks will undergo isobaric cooling. A subsequent orogeny is required to exhume these rocks. From Ellis (1987).

Časové zařazení metamorfózy



Křivka chladnutí syenitu Glen Dessary, Skotsko, odvozená na základě blokujících teplot různých izotopických systémů (van Breemen et al. 1979).

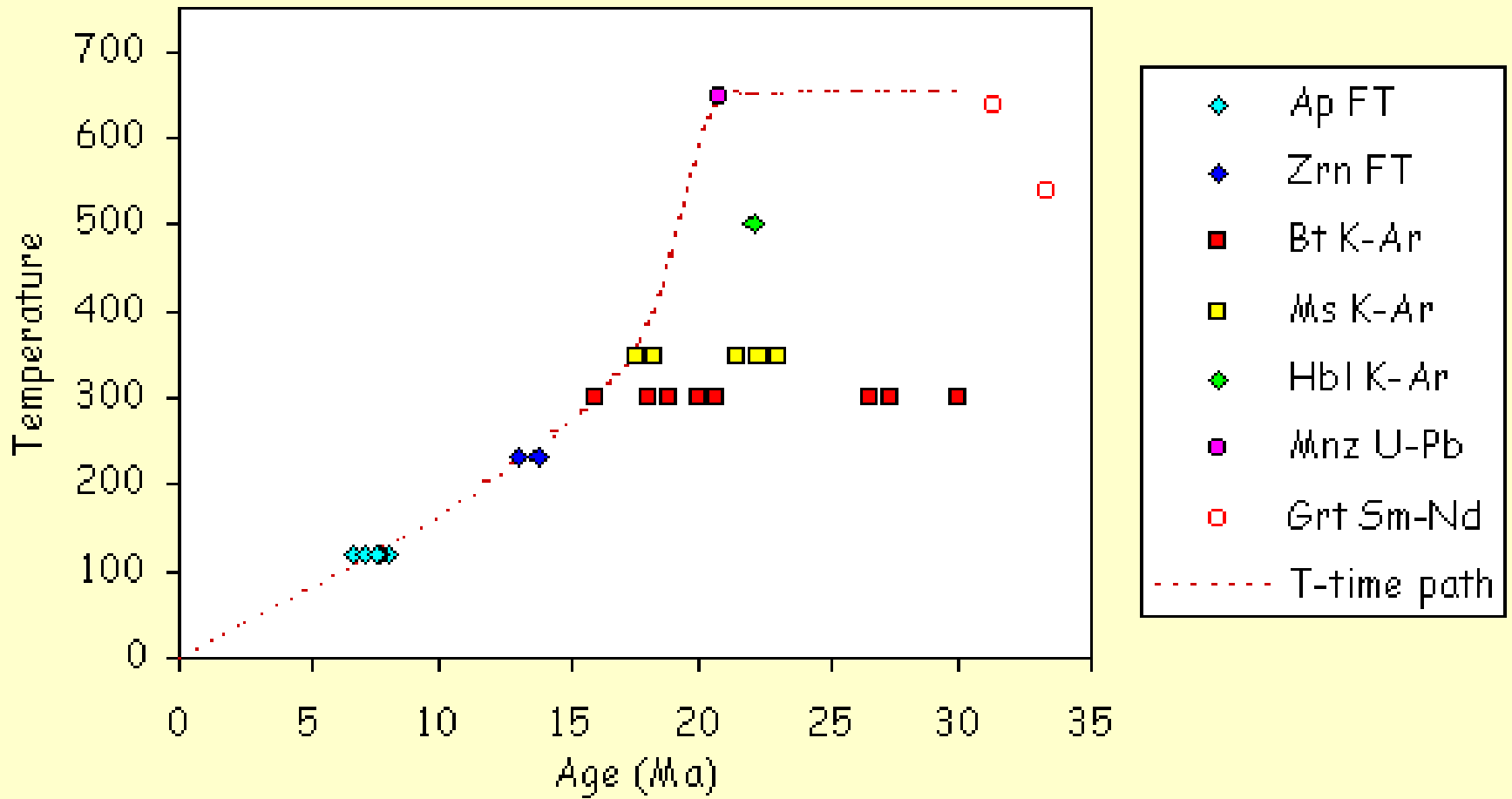
Kolečka: U-Pb, hvězdičky: Rb-Sr, čtverečky: K-Ar.



○ U/Pb Monazite
★ Rb/Sr Muscovite
◇ K/Ar Muscovite
● Rb/Sr Biotite

- **Termochronologie** = historie T-t (datování minerálů s různou T_C)
- T_C - teplota kdy přestává difuzní ztráta dceřinného prvku krystalu
- rychlé chladnutí - odpovídá krystalizaci krystalu

Shafat cooling history



Tektonické interpretace

Dráhy PT = odraz souhry **tektonických procesů a tepelného toku**

Metamorfóza - tektonicky aktivní pásma se zvýšeným tepelným tokem, i.e. aktivní kontinentální okraje (**konvergentní**, divergentní, mobilní, orogenní pásma) – velký rozsah

Metamorfóza indikuje určité geotektonické prostředí.

Simulace metamorfních událostí

Na základě zjištěných PTt dat se tvoří model
Modely vychází z numerického modelování
nebo z experimentů

Termální a mechanické **modely** umožňující sledovat veličiny, které kontrolují metamorfózu: procesy jako zanoření (burial) a zdvih (exhumation) **rychlé** - silně ovlivní tepelnou strukturu zemské kůry

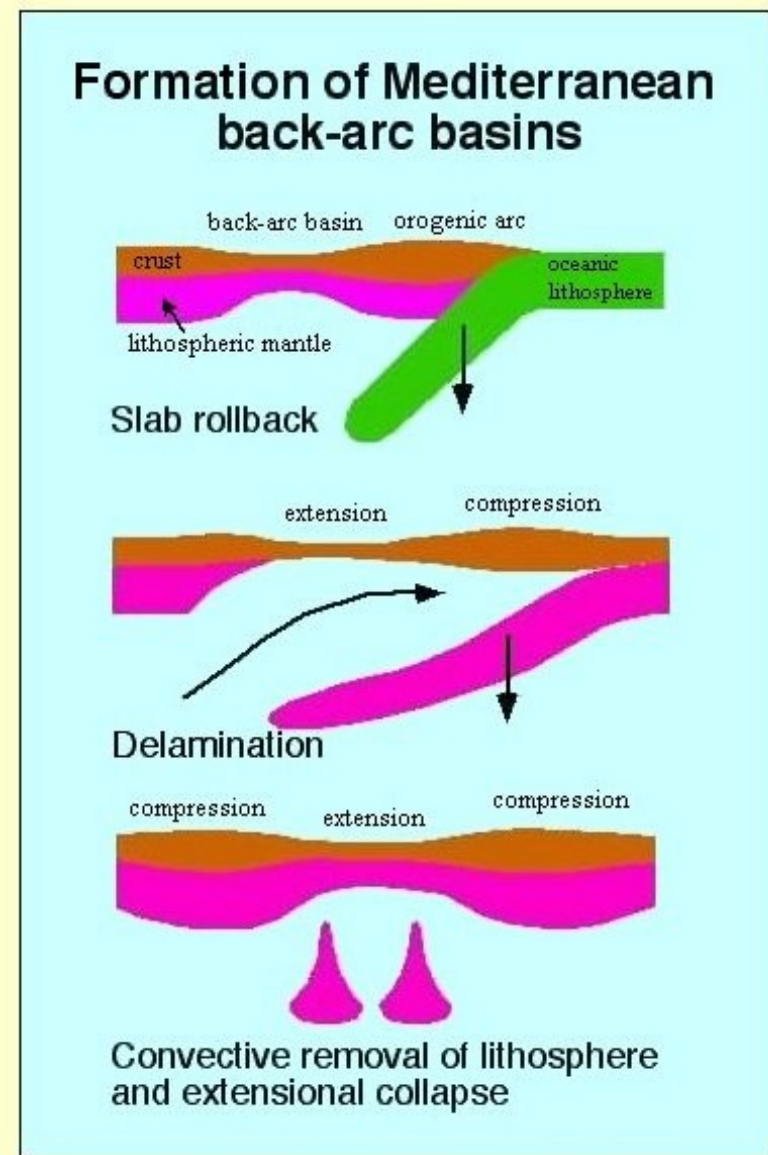


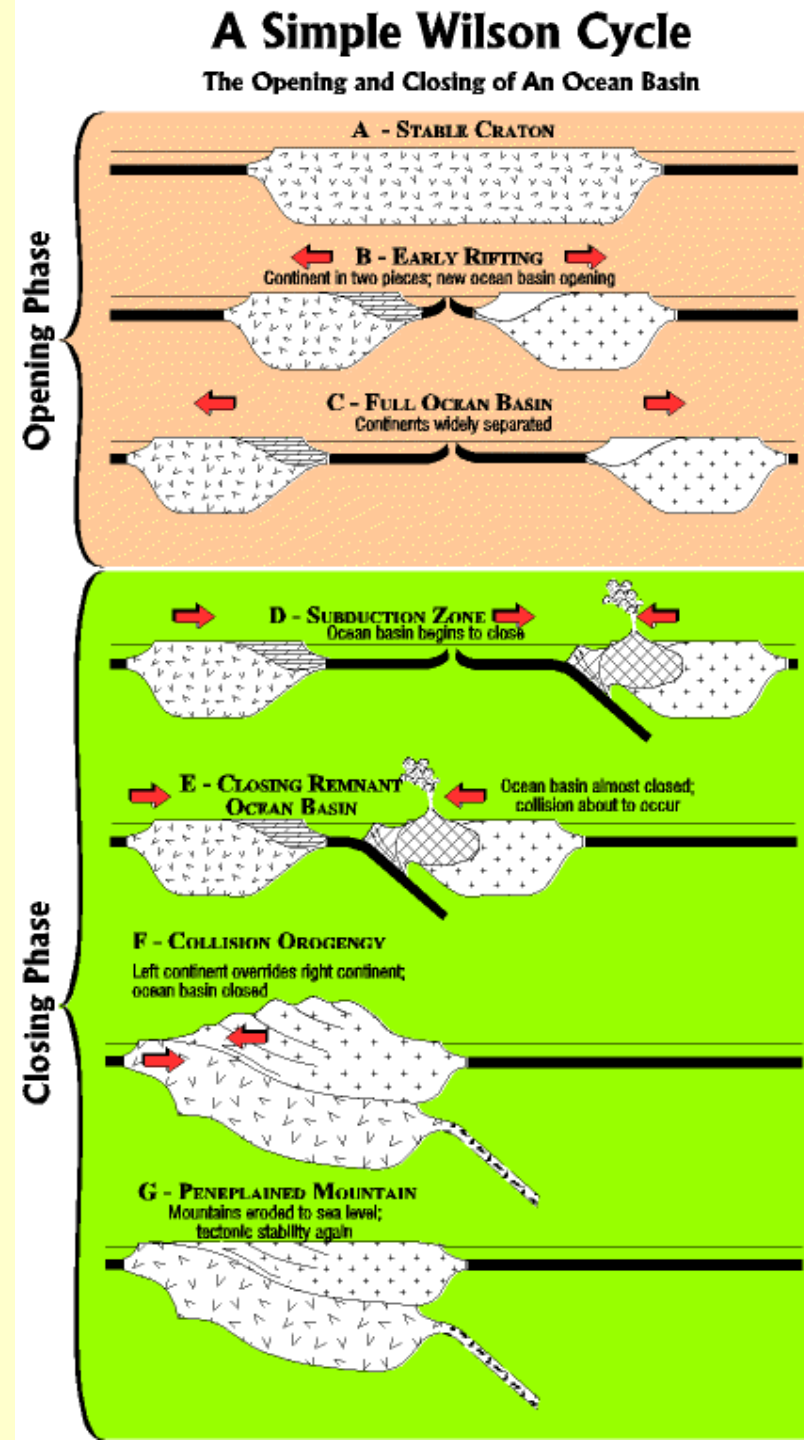
Fig. 4. Current models for the formation of Mediterranean back-arc basins. Top: a subducting slab includes extension in the back arc accompanied by rollback of the subduction hinge. Middle: delamination of lithospheric mantle creates a pattern of induced mantle convection and asymmetrically disposed extension and compression of the overlying crust. Bottom: convective removal of lithospheric mantle creates a region of high gravitational potential energy, which then extends. These models predict differing thermal structures in the crust and lithosphere beneath the basin.

- **Důležité údaje**

- (1) Teplotu $> 800\text{ C}$ nemůžeme v kůře dosáhnout bez tepelného zdroje (magma).
- (2) Při vzniku příkrovů je možné pozorovat rozdílnou P-T-časovou dráhu pro spodní a svrchní příkrov.
- (3) Délka trvání regionální metamorfózy se počítá na desítky miliónů let zatímco kontaktní metamorfóza 10000 let.

1) Porušení tepelné a geologické struktury kůry

- (a) Subdukce studené oceánské desky pod oc/kont → stlačené geotermy
- (b) Ztluštění kůry (kontinentální) – násuny homogenní ztluštění kůry
- (c) Ztenčení kůry - extenzí (intrakontinentální rifting), gravitační skluz příkrovů
- (d) Vrásnění
- (e) Intruze magmatu



2) Relaxace tepelného porušení směrem ke stálému stavu (steady state)

- po skončení tektonického procesu

3) Změna hloubky horniny v důsledku zdvihu a eroze nebo tektonického ztenčování

- ztluštělá kůra je isostaticky nestabilní (není v isostatické rovnováze)
- ⇒ **zdvih a eroze** (pohoří geomorf. nestabilní) eroze ⇒ denudace/odstranění nadložních hornin ⇒ exhumace hornin

Model ET84 – eroze 0.29mm/rok

- ⇒ **tektonické ztenčování** – svrchní kůra – gravitační skluzy či poklesy (low-angle)
střední a spodní kůra – duktilní střižná deformace.

Model ET86 – tektonické ztenčování 1mm/rok

- změna mocnosti kůry
 - hornina se „vrací“ od relaxované geotermie ke stálé
 - snížení tlaku a pohyb horniny blíže k povrchu - chladnutí

Rychlost výstupu hornin a tvar retrográdní dráhy P-T

-
- **Zachování minerálních asociací z P-T_{max}**
- podmíněno rychlým transportem horniny, ne výměna tepla s okolím, rychlé zchlazení \Rightarrow původní minerální asociace zachovány až k povrchu
- pomalá rychlost transportu, výměna tepla s okolím \Rightarrow reekvilibrace minerální asociace v transportovaném bloku, zanikají informace o původní metamorfóze

Faktory kontrolující metamorfní dráhy P-T

- procesy tektonické i sedimentární (mocné sedimentární sekvence, eroze)
- přenos hmoty a tepla během vývoje orogenních zón

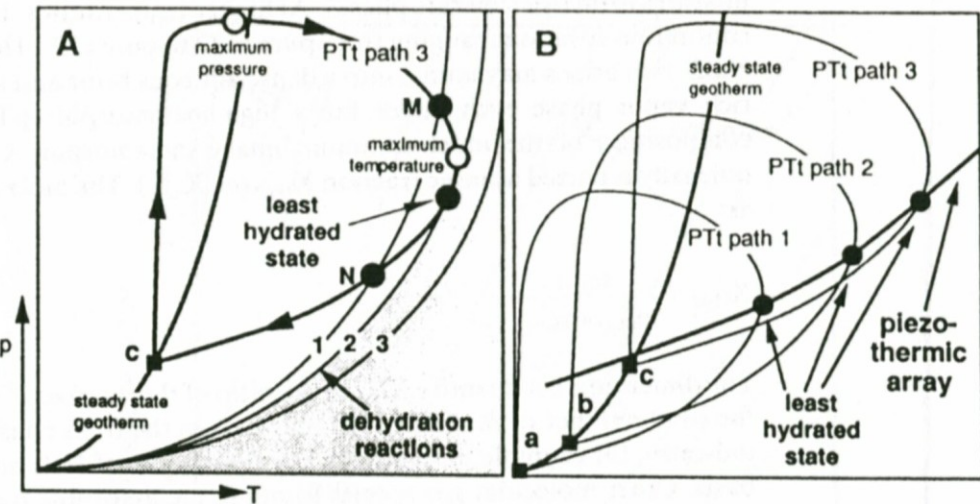


Fig. 3.12. A pTt path of a volume element at depth *c* of Fig. 3.11. The mineral assemblage stable at the tangent point of the path with dehydration reaction 2 will, in general, be preserved in metamorphic rocks. The tangent point corresponds to the least hydrated state of the rock. B Clockwise pTt loops for volumes of crust from different depth levels (Fig. 3–11). The mineral assemblage of the individual volumes corresponds to the least hydrated state for that volume. The pT points of the least hydrated state from all samples of a metamorphic terrain define a curve that is known as piezo-thermic array

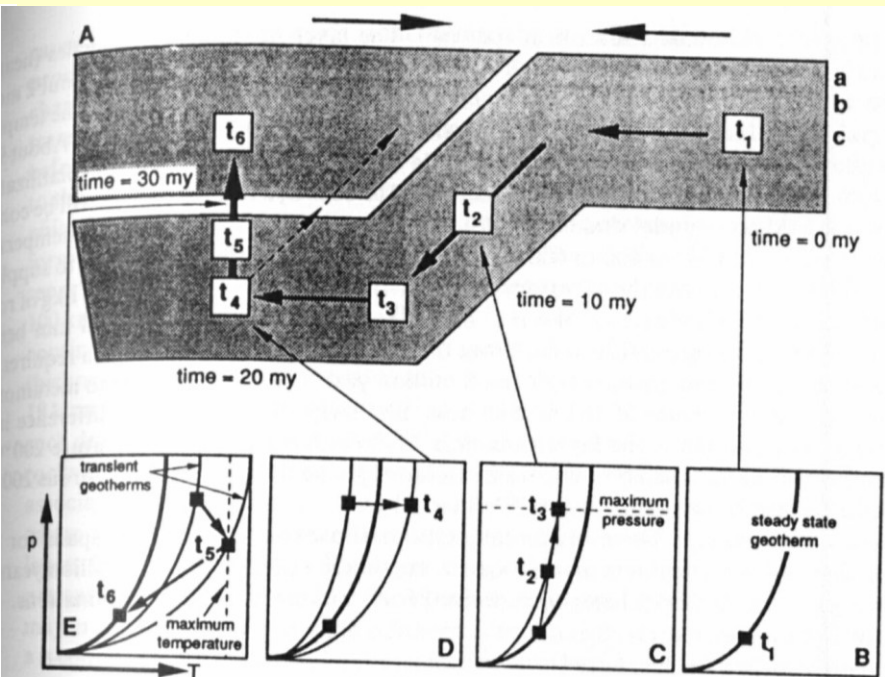


Fig. 3.11A–E. Schematic diagram showing the position of a volume element in the crust as a function of time during a continent-continent collision and the corresponding paths followed by the element in pT space

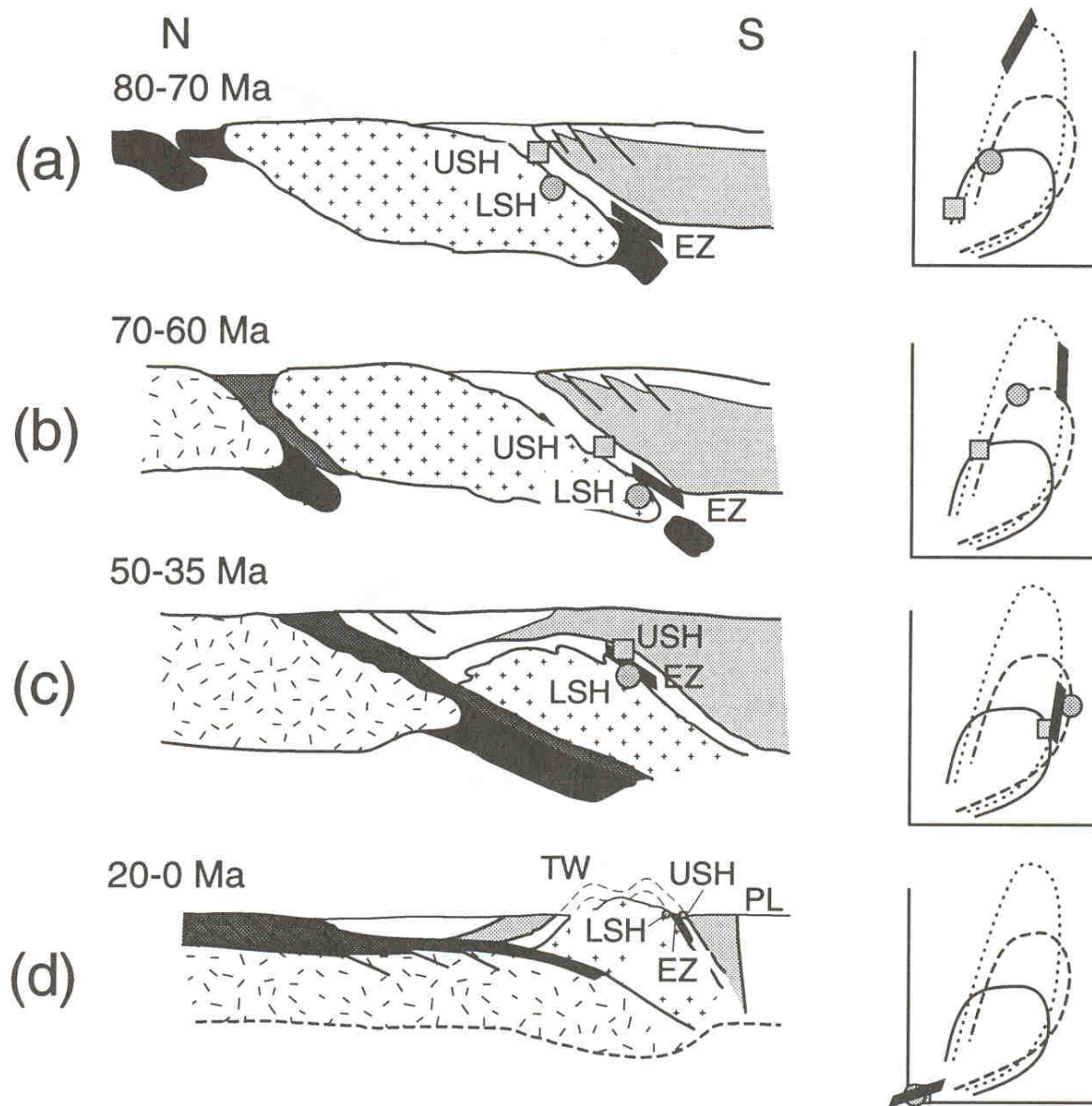
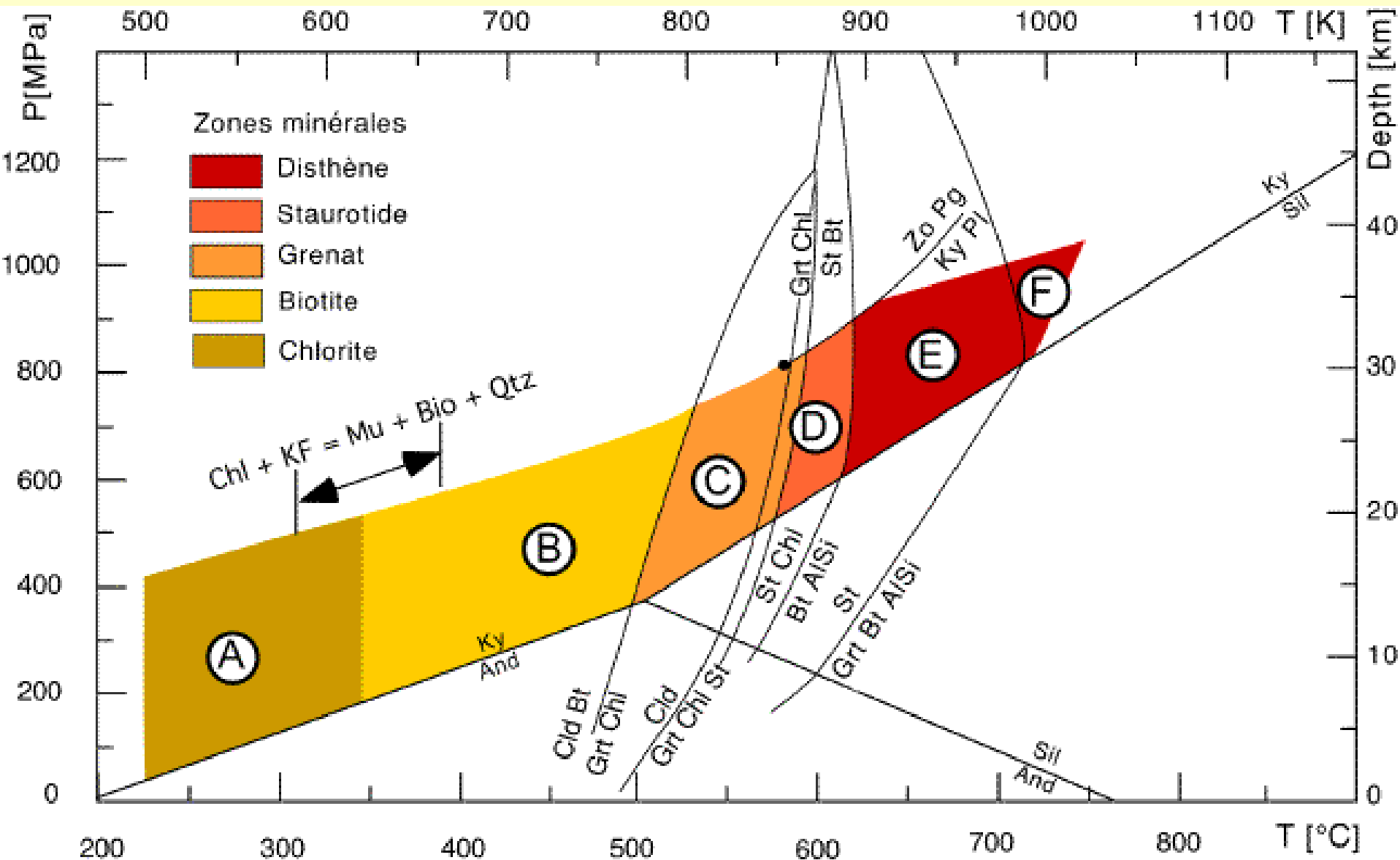
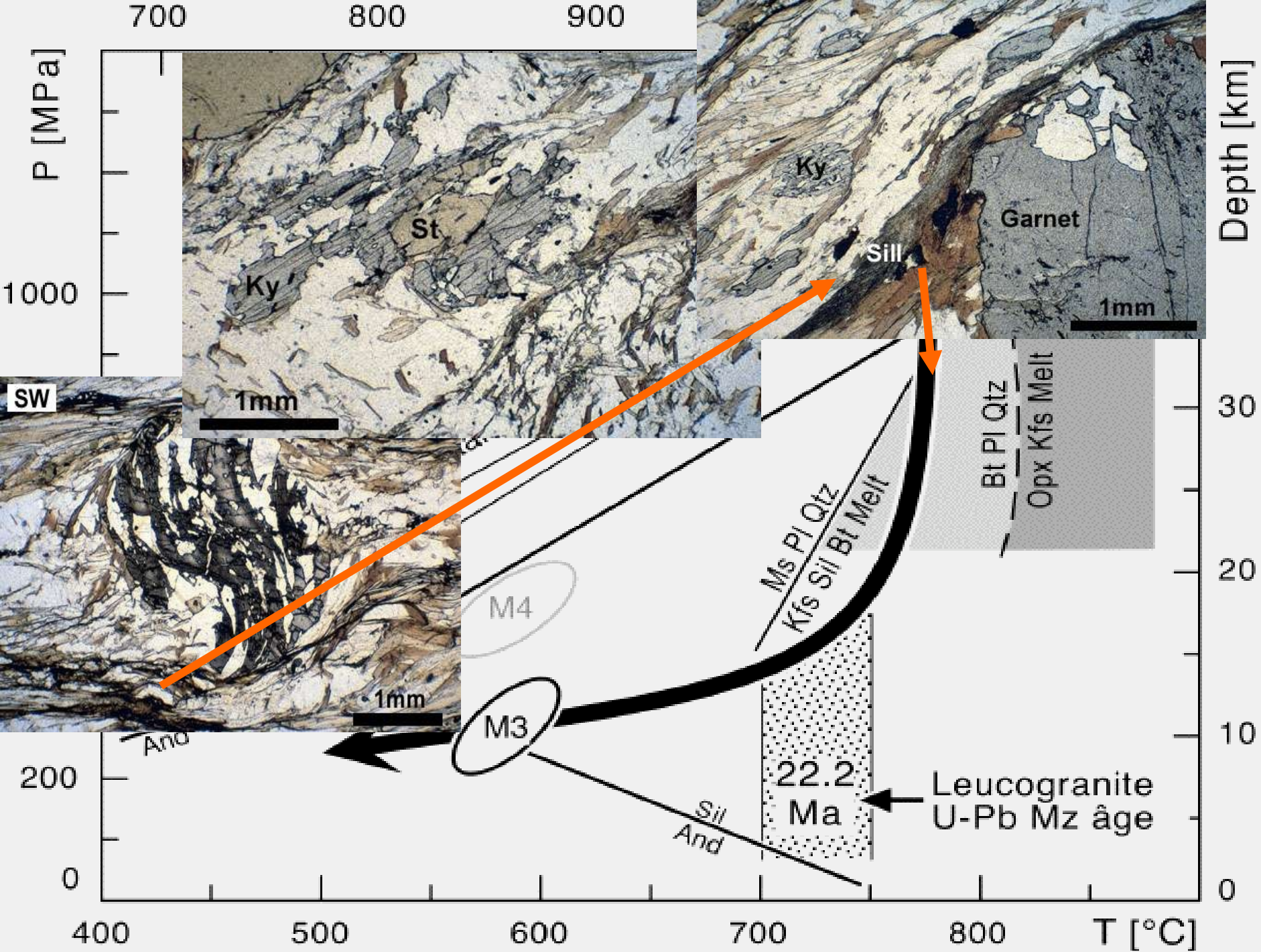
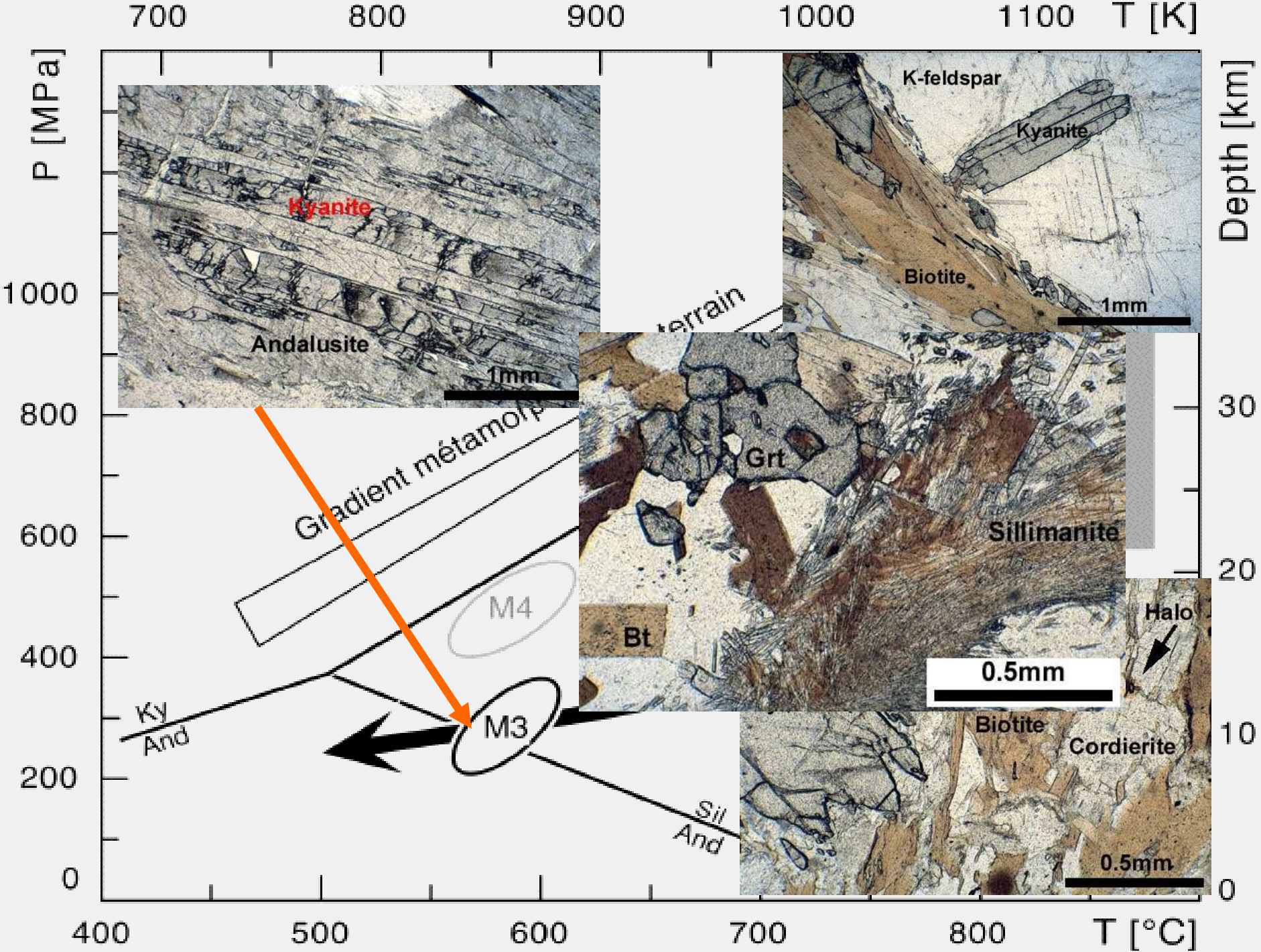


Figure 21-7. A series of tectonic cartoons depicting the evolution of the Tauern Window in the eastern Alps, Austria. Dot = The Lower Schieferhülle (LSH) ; Square = Upper Schieferhülle (USH) ; Parallelogram = Eclogite zone (EZ). P-T diagrams show approximate positions of units along P-T paths at various stages of convergence. Modified after Selverstone (1985).

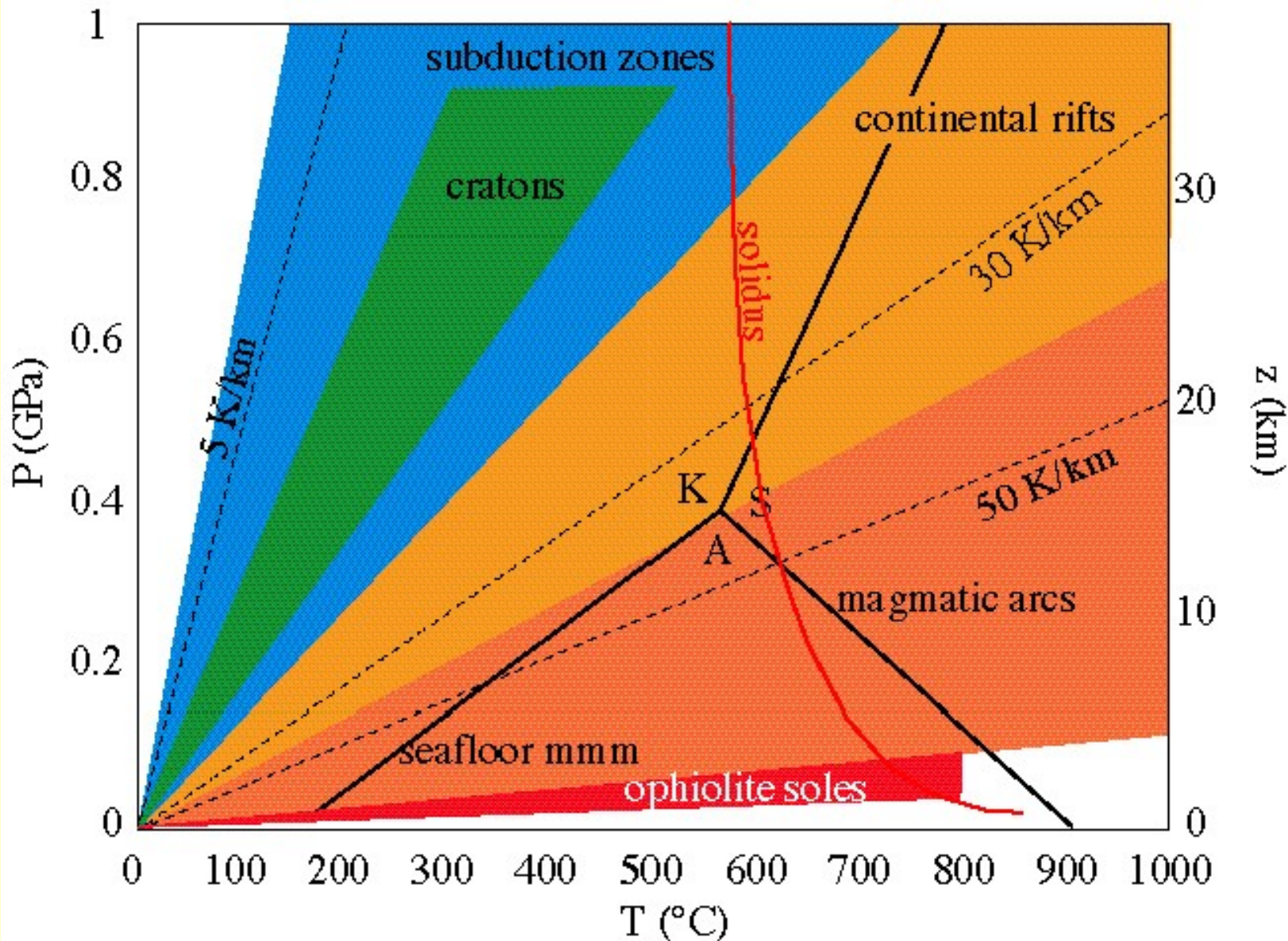
Příklad



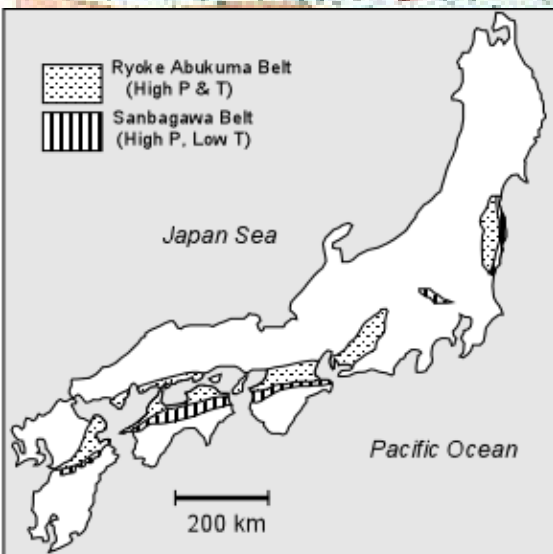
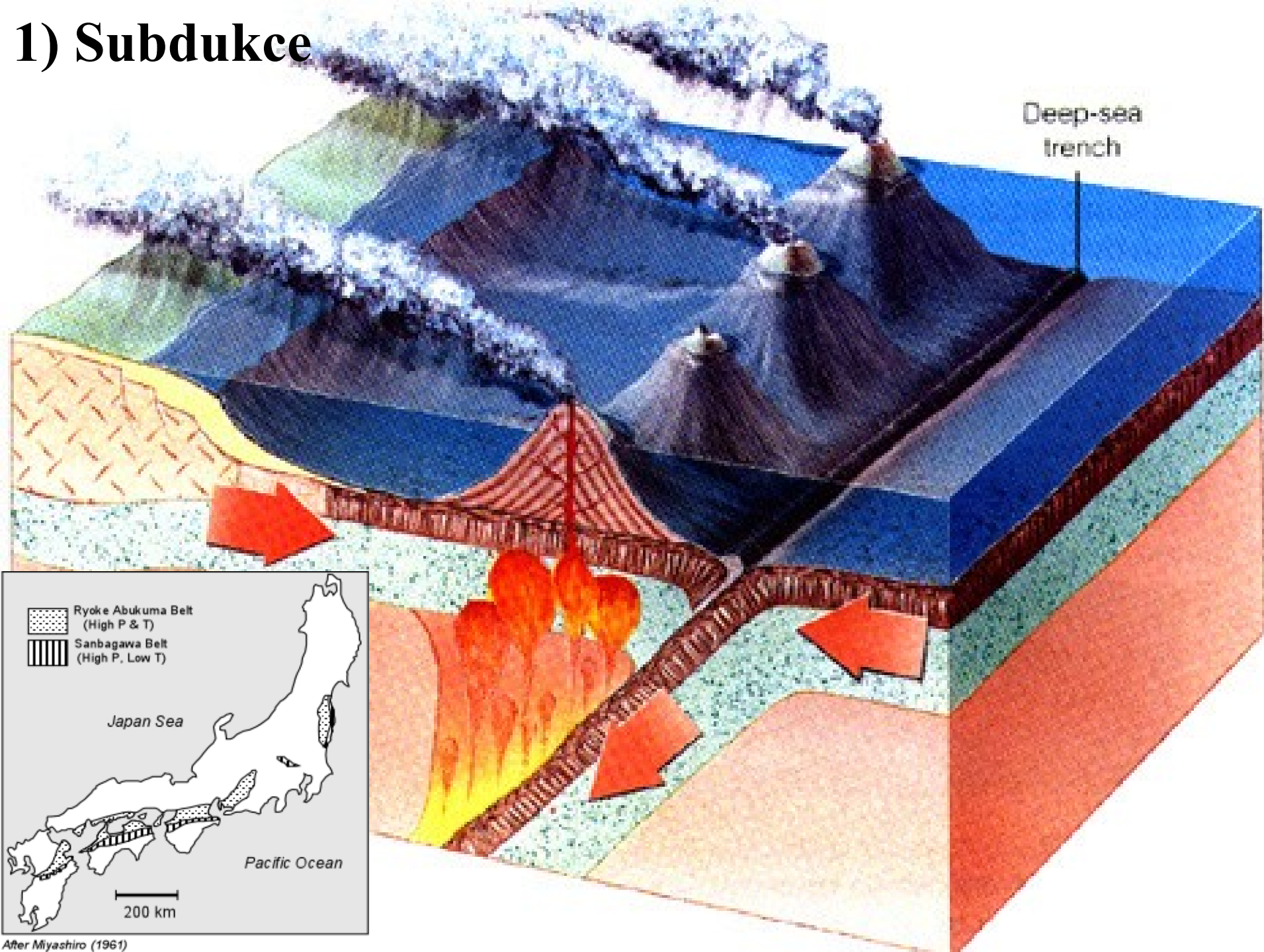




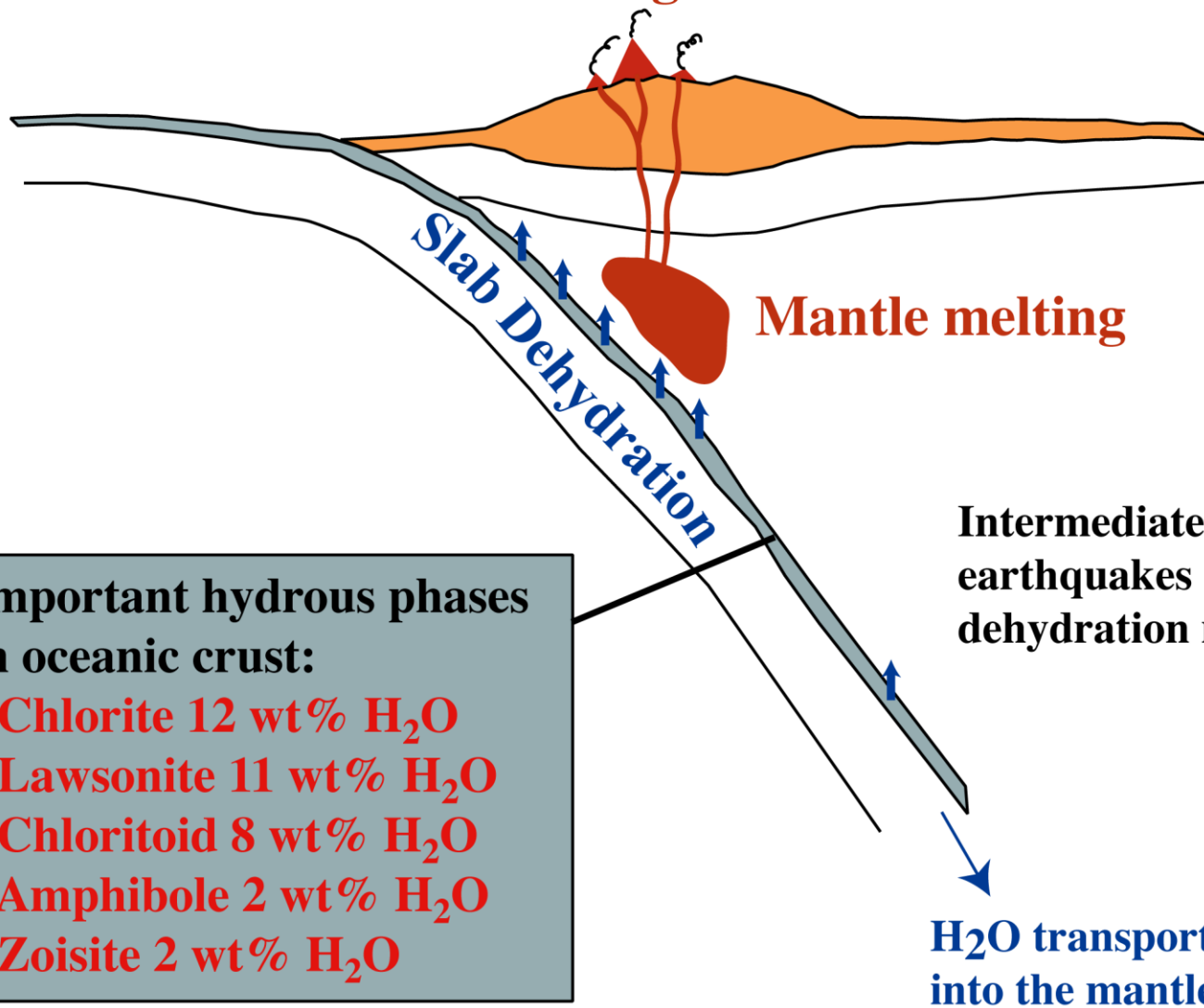
Modely



1) Subdukce

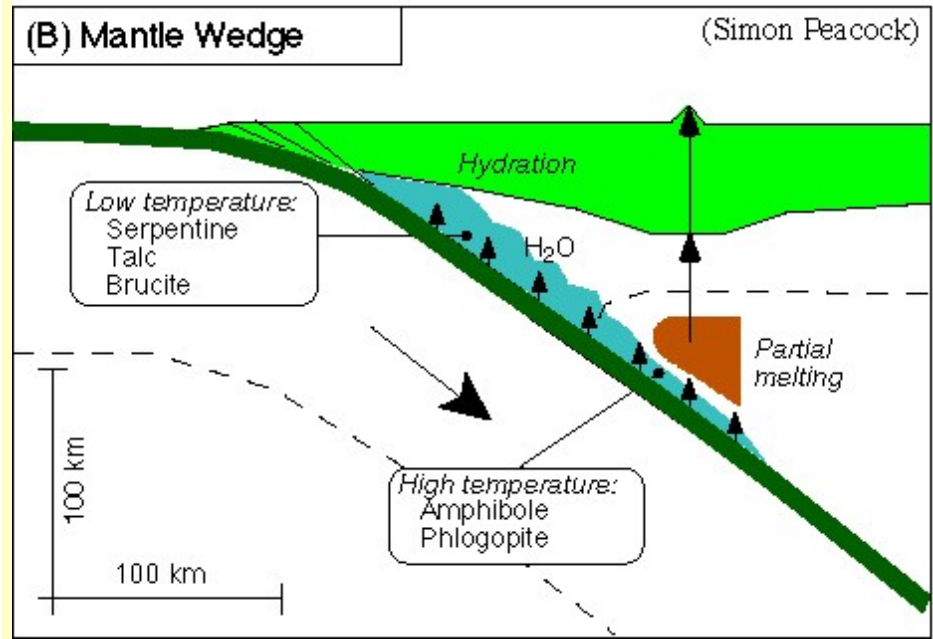
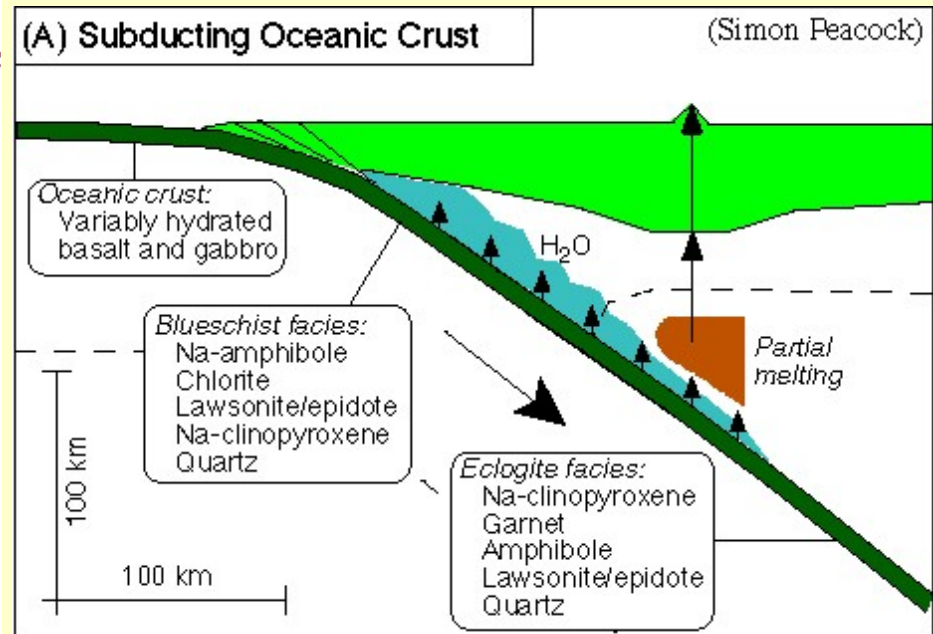
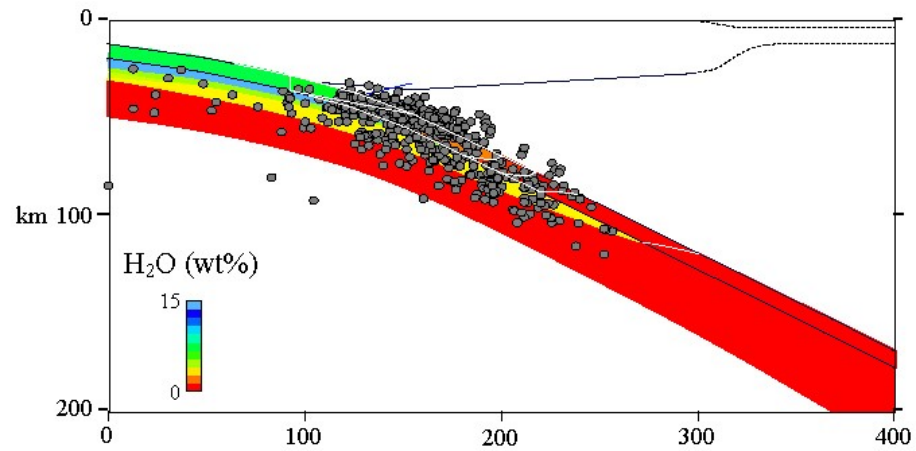
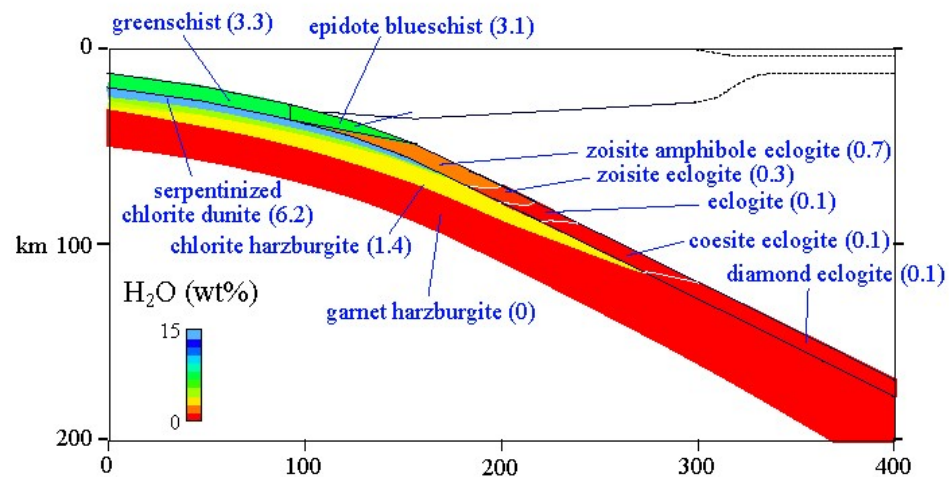
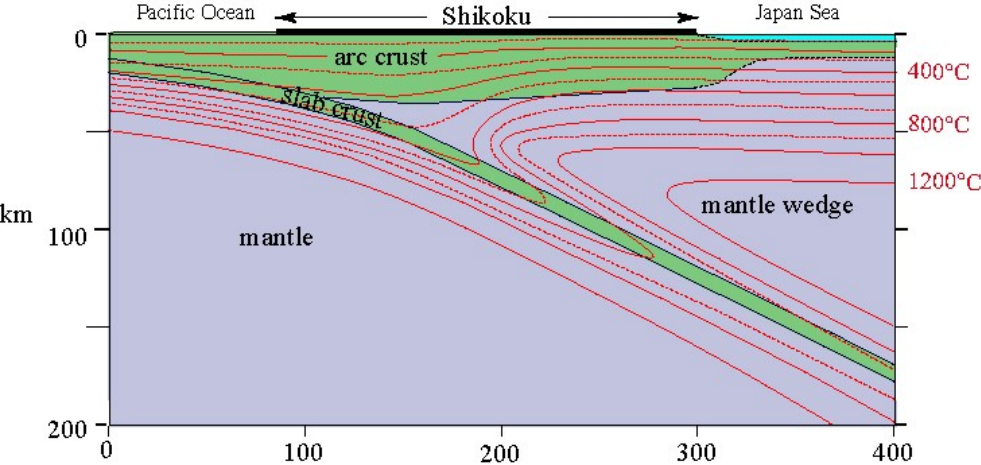


Arc magmatism



Important hydrous phases
in oceanic crust:

- Chlorite 12 wt% H₂O
- Lawsonite 11 wt% H₂O
- Chloritoid 8 wt% H₂O
- Amphibole 2 wt% H₂O
- Zoisite 2 wt% H₂O



Literatura

- Dudek, A. - Fediuk F. - Palivcová M. (1962): Petrografické tabulky
- Hejtman, B. (1962): Petrografie metamorfovaných hornin
- Konopásek, J. – Štípská P. – Klápková H. – Schulmann K. (1998): Metamorfnní petrologie
- Naprostá většina obrazového materiálu pochází z celé řady internetových stránek věnujících se metamorfnní petrologii